

社科区 6:

小鱼之间的相互吸引程度

史培腾, 陈栋 2010 管科

摘要: 通过观测给定时间内不同温度下, 不同种类鱼的逃出数量, 计算出鱼的逃出率, 得到温度与鱼逃出率的关系, 分析温度、种类对鱼逃出率的影响, 并类比分子运动规律, 比较分子运动规律与鱼的运动规律, 探究它们是否存在一定的联系。实验表明: 在一定温度范围内, 鱼群运动和分子运动类似, 鱼的逃出率和平均动能都随温度升高而变大。并且鱼的种类对逃出率也有影响。

关键词: 鱼; 温度; 逃出率; 平均动能; 敏感温度

1 引言

在分子的运动中, 分子与分子之间存在引力, 但是分子本身也有自身的活跃程度, 如液体水分子, 表面的分子会逃离到空气中。

在鱼群中同样有类似的现象, 鱼与鱼之间可能有相互吸引的力量, 而由于鱼本身的活跃程度, 一些鱼也会逃离出鱼群, 那么就可以用逃离的鱼的百分比即逃出率来衡量鱼群之间相互吸引程度与活跃程度之间平衡程度。

在分子运动中, 随着温度升高, 逃离的分子数会增加, 那么升高鱼群所在环境中的温度, 鱼群中逃出的鱼的数量是否同样满足此规律呢? 温度的变化与鱼的逃出率之间的究竟是怎样的关系呢? 这便是此次试验的主要目的。

2 实验

2.1 实验条件的保证

2.1.1 实验过程中水温的可能变化

经过试验, 观察得出, 在六分钟以内水温的变化不超过 1°C , 因此试验过程中可以认为温度是不发生变化的。


2.1.2 记录时间的选择

经过前期的试验测得, 在六分钟时, 鱼逃出的数量趋于相对稳定的状态。

2.1.3 实验装置如图



2.1.4 选用的鱼

名称	斑马鱼	红十字
译名	Zebra fish	The red cross fish
图片		
学名	Danio rerio	Hemigrammus anisitsi
特征	属热带鱼，体色为银色或金色，雄鱼比雌鱼更修长，但略小一些。体长可达 3.8 厘米	鱼体修长。繁殖期时，雄鱼的颜色更加鲜艳。成年鱼体长可达 6 厘米。
水温	水温 25-26 摄氏度。 在水温 11~15℃ 时仍能生存。	最适水温为 25℃。 可耐 10 度低温。

3 试验步骤

3.1 试验地的选择

尽可能地模拟鱼群生活所处的真实环境,我们选取了学校的花园作为实验地点。那里有来自大自然的声音,包括风声,鸟叫声等等,同时很少有人走动和大声喧哗,可以避免鱼群受到扰动,惊吓。实验地点的选取客观上有利于准确获取实验数据。

3.2 鱼所处的起始空间的设定

此次我们采用分子的模型结果进行分析。在实验中,遇到一个首要问题便是,如何确定鱼的起始空间才是合适的?对此,我们采用如下模型假设。

我们知道固体分子是紧密排列的,只能在原处振动。我们观测到,鱼有转圈的现象,于是:

- 1 我们把鱼抽象成一个球形,直径是鱼的长度 4 cm。
- 2 假想把这些鱼紧密排列起来,构成一个长方体,算的它们合适的体积。
- 3 根据鱼缸的 L 和水的 H,算出我们放置隔板的位置。



$$v = \frac{4}{3} \pi R^3$$

$$V = 40v$$

$$R = 2\text{cm}$$

$$L = 23.5\text{cm}$$

$$H = 12\text{cm}$$

$$?d = 4.7532$$

考虑到鱼不是紧密排列,而且自由度还比较大,最后确定 $d=7\text{cm}$

3.3 测量数据

- 1 将鱼放入鱼缸之后,直到鱼不乱窜,适应稳定环境。
- 2 将隔板固定在 7cm 处,小孔打开,开始计时。
- 3 每隔一分钟记录一次鱼逃出的数量,记录至第六分钟。
- 4 多次测量,排除由于鱼游动的随机性带来的误差数据,得到六组相对稳定的数据。

4 分析与结论

4.1 原始数据

我们每种鱼都以六分钟为限，每个温度下，原则上安排 6 次测量，如果有极端数据，就排除掉，重做一组。以下是我们的数据

The Red cross fish 总数 40 条

10°C 下的逃出数量

时间 次数	1	2	3	4	5	6
一	1	2	1	3	6	8
二	3	4	7	11	10	12
三	0	1	2	2	8	9
四	1	4	6	10	13	12
五	0	4	7	8	7	8
六	0	3	6	13	11	9
平均数	0.83	3.00	4.83	7.83	9.16	9.66
标准差	1.06	1.15	2.40	4.05	2.40	1.69

15°C 下的逃出数量

时间 次数	1	2	3	4	5	6
一	1	3	3	2	5	8
二	0	1	2	3	5	6
三	2	3	7	9	8	9
四	0	1	5	5	7	10
五	1	4	6	10	10	13
六	2	5	8	12	12	14
平均数	1.00	2.83	5.16	6.83	7.83	10.00
标准差	0.81	1.46	2.11	3.71	2.54	2.76

20°C下的逃出数量

时间 次数	1	2	3	4	5	6
一	4	10	15	14	16	20
二	8	12	16	17	17	18
三	4	10	12	14	15	16
四	4	11	14	14	16	17
五	2	10	12	15	15	15
六	4	6	11	16	18	23
平均数	4.33	9.83	13.33	15.00	16.16	18.16
标准差	1.79	1.86	1.79	1.15	1.06	2.67

25°C下的逃出数量

时间 次数	1	2	3	4	5	6
一	3	6	18	22	23	27
二	8	7	14	17	20	21
三	6	8	15	18	19	20
四	9	14	18	20	21	25
五	4	15	17	24	24	26
六	9	11	13	15	18	22
平均数	6.50	10.16	15.83	19.33	20.83	23.50
标准差	2.36	3.43	1.95	3.03	2.11	2.63

30°C下的逃出数量

时间 次数	1	2	3	4	5	6
一	5	6	8	11	14	15
二	3	9	10	10	13	14
三	3	7	8	11	14	18
四	5	10	11	13	15	16
五	6	10	13	17	19	18
六	4	3	5	11	12	14
平均数	4.33	7.50	9.16	12.16	14.50	15.83
标准差	1.10	2.50	2.54	2.33	2.21	1.67

Zebra fish 总数 40 条

10°C 下的逃出数量

时间 次数	1	2	3	4	5	6
一	1	6	4	10	14	13
二	3	5	8	17	20	17
三	6	10	12	12	13	14
四	1	6	10	14	19	14
五	8	15	10	5	12	13
六	7	14	13	14	19	18
平均数	4.33	9.33	9.50	12.00	16.16	14.83
标准差	2.80	3.98	2.92	3.78	3.23	1.95

15°C 下的逃出数量

时间 次数	1	2	3	4	5	6
一	13	19	30	29	22	22
二	9	18	23	16	23	20
三	5	11	13	18	19	21
四	6	14	19	23	15	24
五	4	6	7	11	20	21
六	6	10	19	23	26	20
平均数	7.16	13.00	18.50	20.00	20.83	21.33
标准差	3.02	4.54	7.25	5.77	3.43	1.37

25°C 下的逃出数量

时间 次数	1	2	3	4	5	6
一	9	14	30	17	23	26
二	10	15	23	28	31	30
三	8	21	28	30	29	26
四	11	16	24	34	24	31
五	8	18	33	32	30	31
六	6	15	28	26	28	30
平均数	8.66	16.50	27.66	27.83	27.50	29.00
标准差	1.59	2.36	3.39	5.48	2.98	2.16

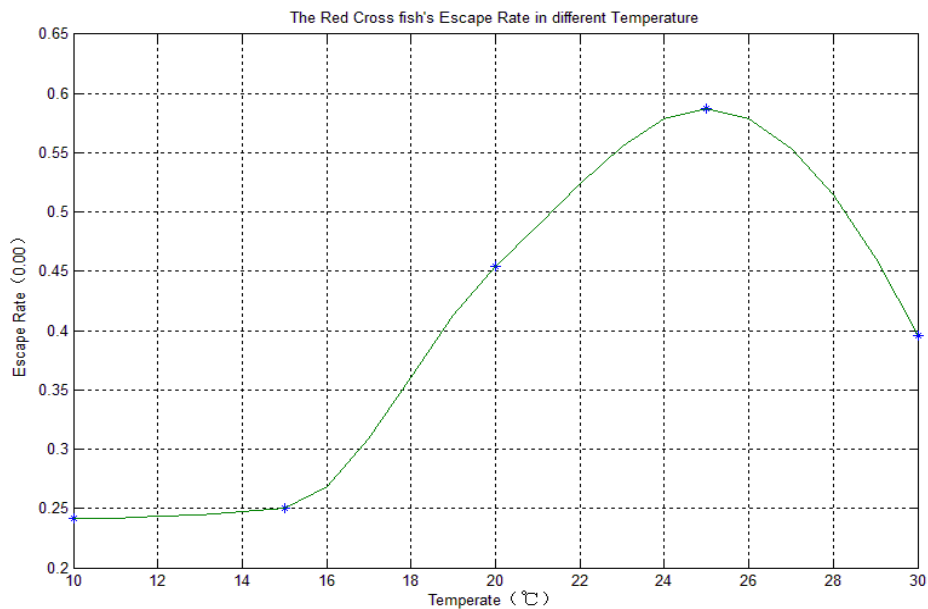
30°C下的逃出数量

时间 次数	1	2	3	4	5	6
一	12	15	14	18	20	25
二	11	20	14	10	20	24
三	9	18	19	18	16	17
四	16	20	24	26	25	25
五	4	12	17	21	21	27
六	4	9	18	18	21	24
平均数	9.33	15.66	17.66	18.50	20.50	23.66
标准差	4.30	4.10	3.39	4.75	2.63	3.14

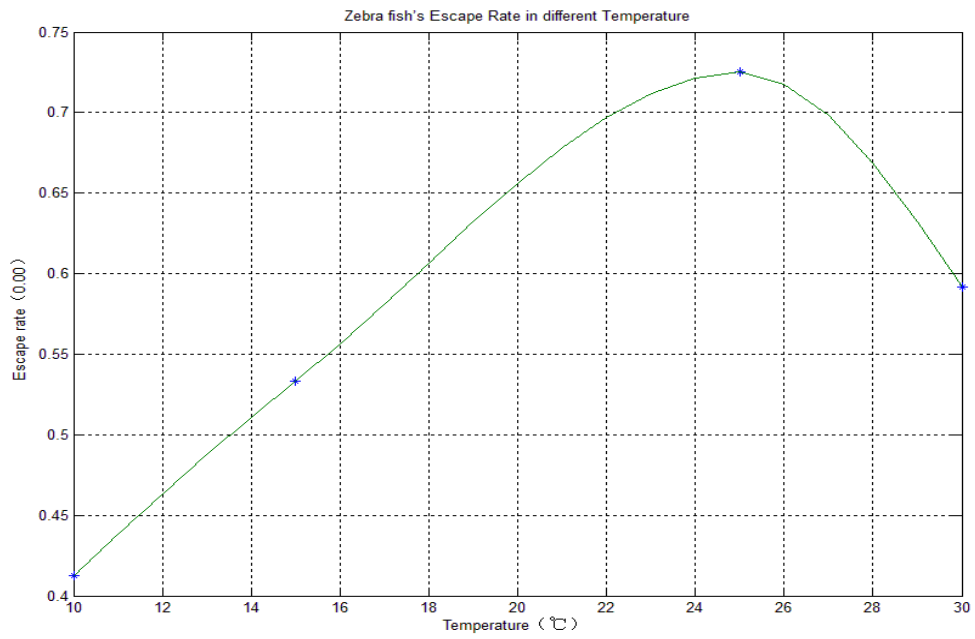
4.2 逃出率与温度的图像

以标准差作为衡量数据离散程度的依据，观测发现，从第四分钟开始，标准差开始趋于稳定，而且标准差不是很大。于是，我们以第6分钟的数据作为该温度下的最终数据，得到以下的逃出率和温度的图像关系。

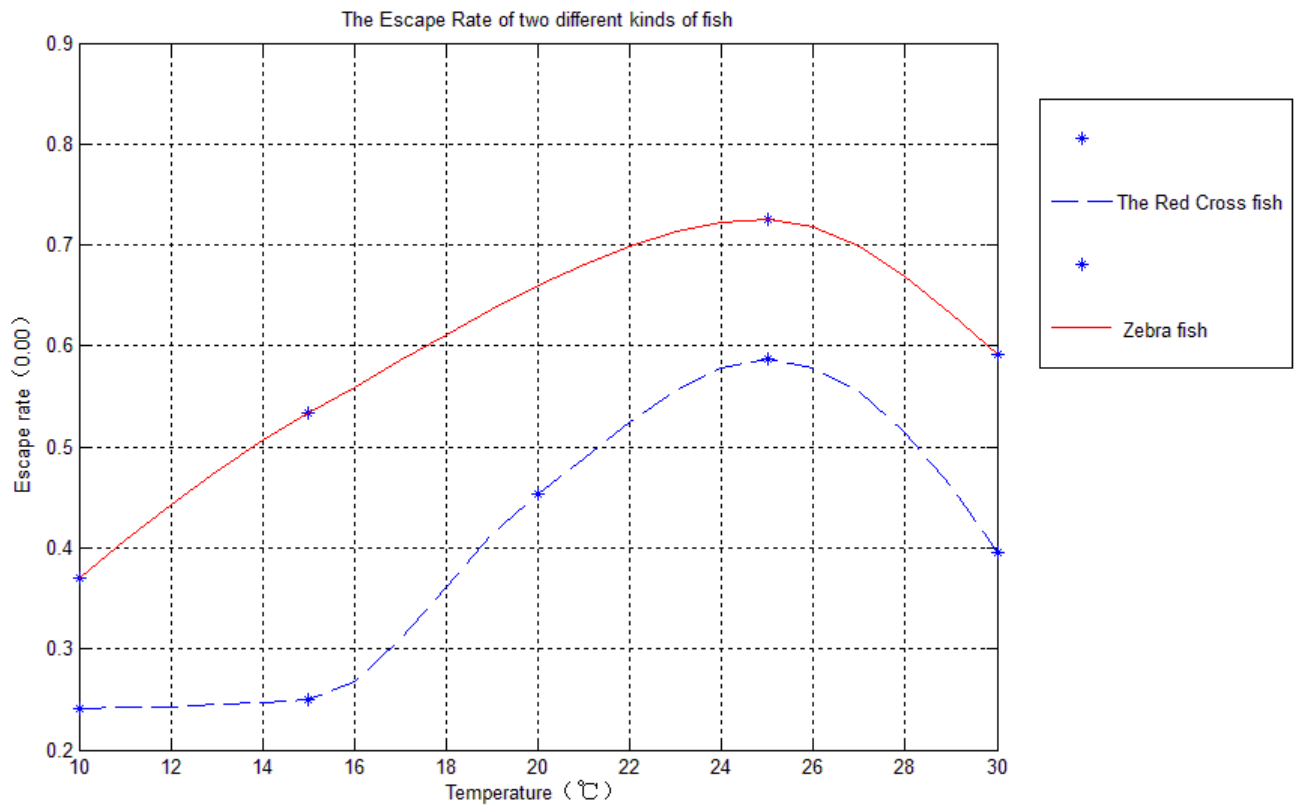
The Red cross fish's escape rate in different temperature



Zebra fish's escape rate in different temperature



The escape rate of two different kinds of fish



分析

- 1 对于这两种不同的鱼，同温度下的逃出率不一样，说明鱼群种类对逃出率有影响。
- 2 两条不同曲线又有相同的走势：

在一定的温度范围内（10℃—25℃），鱼类的逃出率随温度的升高而增大。当水温超过一定范围（25℃），鱼类的逃出率反而会下降。可见，水温对鱼群逃出率的影响是有一定规律。大致可以用三次型函数来描述，通过拟合模型，我们得到逃出率与温度的大致函数关系为：

$$\text{The Red Cross fish: } E = -0.0003 * T^3 + 0.0195 * T^2 - 0.3203 * T + 1.8435$$

$$\text{Zebra fish: } E = -0.0001 * T^3 + 0.0045 * T^2 - 0.0294 * T + 0.319$$

其中 E 为逃出率，T 为温度

注：

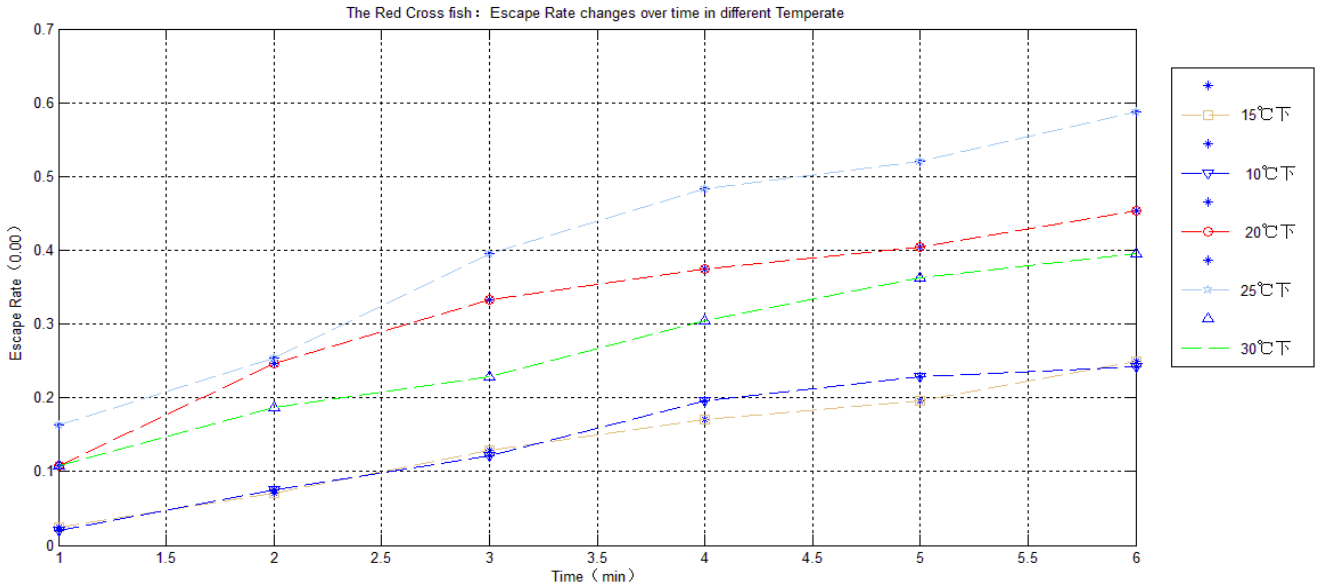
The Red cross 在 10℃—15℃时候，逃出率变化不明显，可能与它对温度变化不如 zebra 敏感有关。

- 3 分子动理论说明温度越高，分子运动越剧烈。鱼群的逃出率在一定范围内变大是符合这一理论的。但是为什么它没有一直变大，究其原因，生物可以承受的温度是有限的。根据资料，这两种鱼可以承受的最大温度不超过 35℃。
- 4 我们都很感兴趣逃出率为什么在 25℃左右达到了最大值，由资料显示，25℃是这两种鱼群的最适温度，最适温度是指，鱼群在这个温度下，生长发育到达最大，身体内活性物质（蛋白质，酶）的活性都很高。所以，我们推测，对鱼运动起主要影响的酶（包括消化酶，呼吸酶）在此温度下都到达活性的极大值，从而使得鱼群更加活跃，导致逃出率变大。查阅相关资料后，发现鱼的主要酶的确在 25℃—30℃之间到达极大值，符合我们的推测。

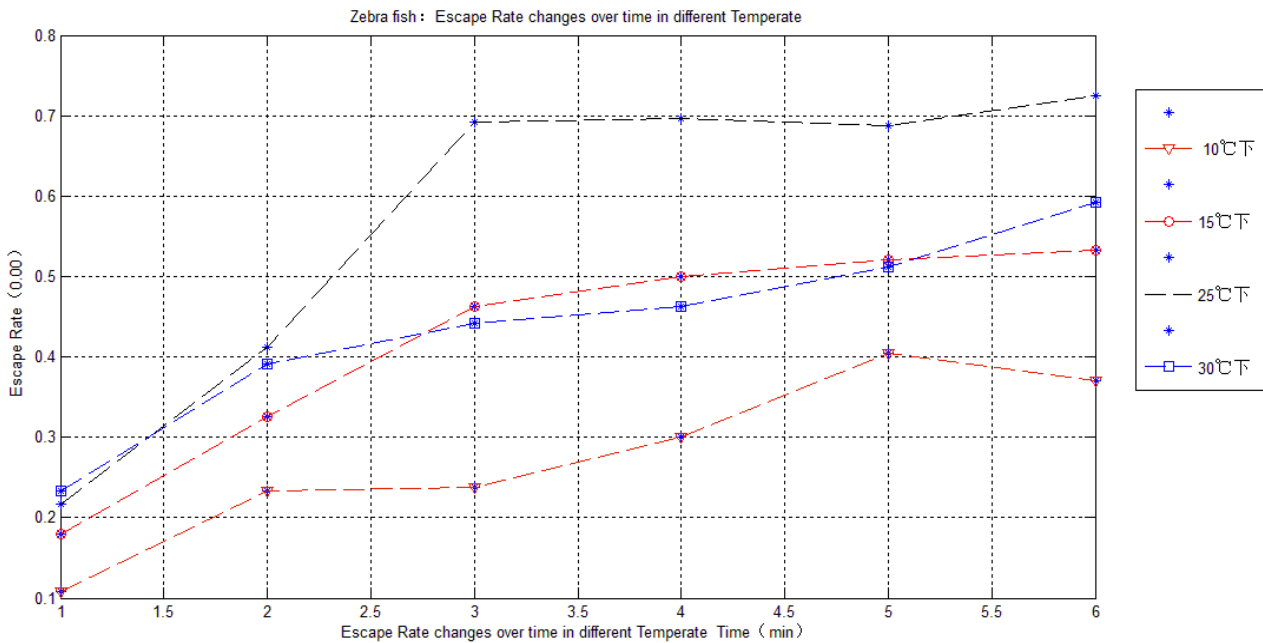
4.3 逃出率与时间的图像

不同温度下，计算 6 次测量的平均数，画出逃出率随时间的图像。它的斜率，是单位时间逃出率的变化，可以称作为边际逃出率。把不同温度下的图像画在一起，可以比较不同温度下达到一定水平逃出率的时间快慢和鱼群趋于稳定的时间快慢。

Red cross fish escape rate changes over time in different temperature



Zebra fish escape rate changes over time in different temperature



分析

1 逃出率达到最后 6 分钟时候,并非一直呈线性增加。这一点,在 The Red Cross fish 的图中 25°C, 15°C, 10°C 下的曲线表现的更明显一些。在 Zebra fish 的图中, 四条曲线几乎都说明这一规律。在 The Red Cross fish 的图中, 前四分钟的图像要陡峭一些, 斜率更大, 说明边际逃出率大于后两分钟。在 Zebra fish 的图中,

前三分钟的图像要陡峭一些，斜率更大，边际逃出率大于后三分钟。

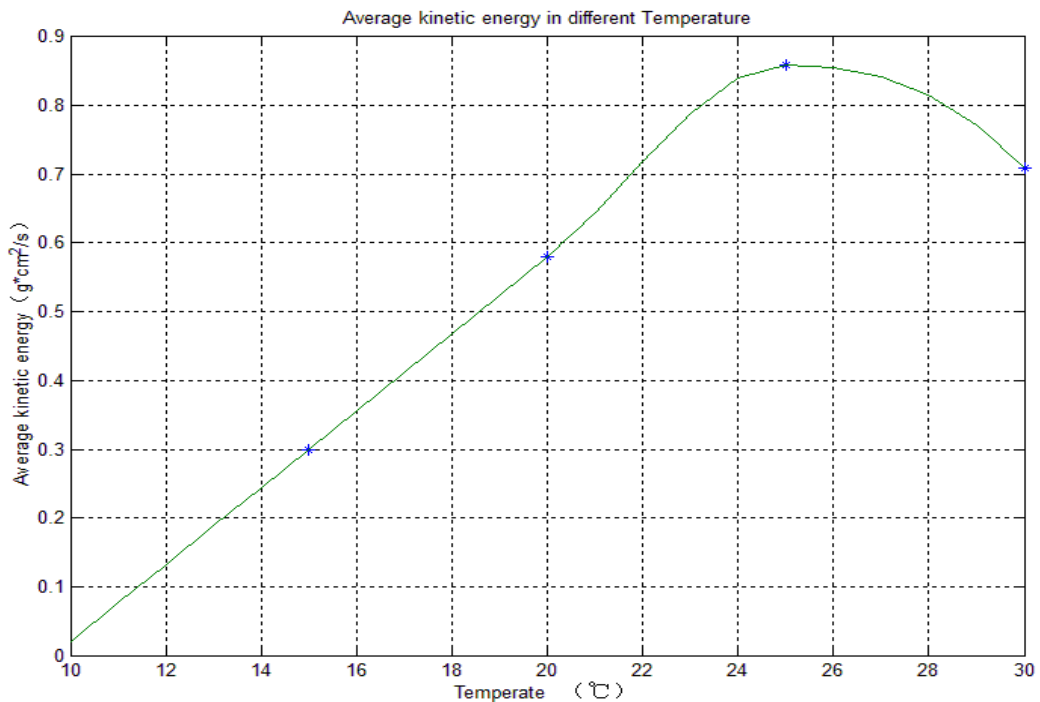
这一现象说明鱼群在刚放进不同温度的水中时候，运动的更快，后来逃出率趋于稳定。我们推测，这与鱼群刚放下去，还没有适应此种温度，受惊，躁动有关。

2 在每一个相同时刻，不同温度下，逃出率均不相同。而且两幅图均是 25°C 时最大。在 The Red Cross fish 的图中，20°C 时次之，30°C 时排在第三，但是它们之间的差距不大。15°C 时和 10°C 时几乎一样，为最低。在 zebra fish 的图中，30°C 时和 15°C 时几乎一样，排在第二，10°C 最低。

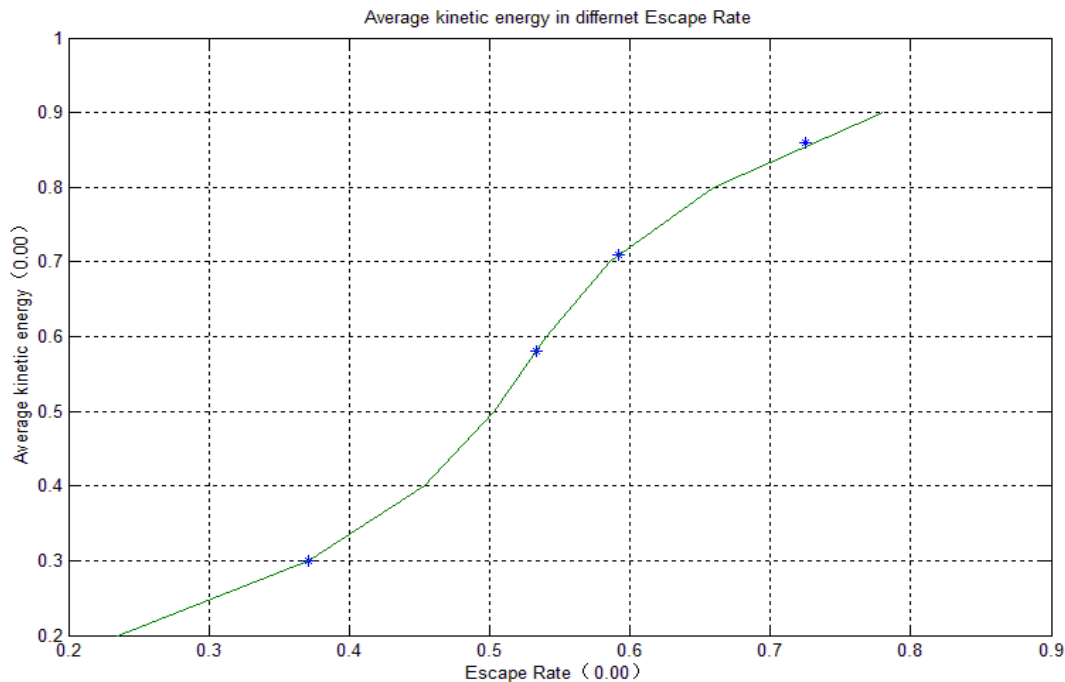
我们引入物质中某些物理性质存在一个突变点或者临界点的概念，作为类比，可以找到一个临界温度。在这个温度下会突然引起鱼群运动活跃起来，我们称之为敏感温度。可以大概推测出，引起 The Red cross fish 运动活跃程度变化的敏感温度在 15°C 到 20°C 之间，引起 zebra fish 运动活跃程度变化的敏感温度是在 10°C 和 15°C 之间。

4.4 平均动能与温度，逃出率图像

Average kinetic energy in different temperature (guppy)



average kinetic energy in different escape rate



说明：这里的平均动能是针对另一种鱼，孔雀鱼测得的数据。但是由上所述，我们已经知道不同的鱼群的逃出率和温度都遵循相同的三次型函数关系。那么孔雀鱼也应该满足这一规律。

根据资料显示，孔雀鱼和 zebra fish 同属热带鱼，都不能经受低于 10℃ 的低温，也都不能承受高于 35℃ 的高温。也就是说，孔雀鱼的逃出率应该和 zebra fish 的差距不大。于是我们把 10℃，15℃，25℃，30℃ 下 zebra fish 的逃出率和孔雀鱼的平均动能一一对应起来，近似的得到鱼群平均动能—逃出率图像。

分析

1 平均动能越大，逃出率也越大。这与我们的推测一致。在越接近最适温度（25℃），生物活性物质（蛋白质，酶）越活跃，鱼群新陈代谢越快，运动也活跃，从而平均动能越大，鱼儿逃离鱼群的概率越大，逃出率也愈大。

2 逃出率和平均动能之间几乎是呈线性关系。

5 结束语

经过这次实验，我们有以下收获：

5.1 温度与鱼逃出率的关系

在一定的温度范围内（ 10°C — 25°C ），鱼类的逃出率随温度的升高而增大，当水温超过一定范围（25 度）时，鱼类的逃出率反而会下降。且当温度超过敏感温度并在鱼的适宜温度内时，鱼逃出率的变化将会加快，鱼也会更加活跃

5.2 种类与逃出率的关系

通过比较两种不同种类的鱼逃出率与温度的关系，可以发现在相同温度下 Zebra fish 的逃出率均高于 The Red Cross fish，可见鱼本身的生理结构和生理状态对鱼的逃出率有着重要的影响。

5.3 鱼运动规律与分子运动之间的关系

在分子的运动中，温度升高，分子的运动更加剧烈，分子的动能也随之升高，而对于鱼群来说，由于鱼生理条件的限制，在整个温度下不符合分子的运动规律，但是在一定范围内（ 10°C — 25°C ），随着温度越高，鱼也更加活跃，鱼的动能也同样升高，鱼的逃出率也变大，符合分子运动的规律。

5.4 在此次试验中，我们模拟鱼生活的仿真环境，并将鱼群抽象成分子模型估计初始空间，进行逃出率的测量，不仅有利于准确测量实验数据，而且使得鱼的运动与分子运动规律的比较更加合理。

数据的得到上，进行了大量的重复测量，保证了数据的真实性；实验数据的分析上，我们充分运用类比的方法，引进了边际逃出率和敏感温度的概念，为描述鱼群相互吸引程度与活跃程度之间的关系提供了更多方式。

参考文献

- [1] 实验竞赛物理组： Average kinetic energy in different temperature (guppy)